

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

(19) JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

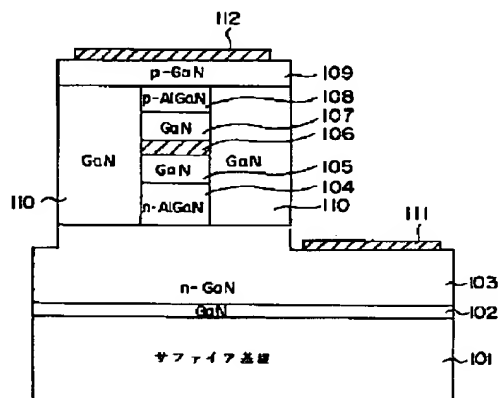
(11) Publication number: **10093198 A**(43) Date of publication of application: **10.04.98**(51) Int. Cl.
H01S 3/18
H01L 33/00(21) Application number: **09189730**(22) Date of filing: **15.07.97**(30) Priority: **26.07.96 JP 08197855**(71) Applicant: **TOSHIBA CORP**(72) Inventor:
OKAZAKI HARUHIKO
FUJIMOTO HIDETOSHI
ISHIKAWA MASAYUKI
NUNOGAMI SHINYA
HATAGOSHI GENICHI
YAMAMOTO MASAHIRO(54) **GALLIUM NITRIDE COMPOUND
SEMICONDUCTOR LASER AND ITS
MANUFACTURE THEREOF**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable satisfactory carrier injection and optical confinement in a double heterostructure portion, using a gallium nitride compound semiconductor material, and enable utilization of the laser as a light source of a short wavelength, oscillating at a low-threshold value.

SOLUTION: A semiconductor laser has a double heterostructure portion using a gallium nitride compound semiconductor material, in which an active layer 106 is provided between an n-type clad layer 104 and a p-type clad layer 108, on a sapphire substrate 101. In the semiconductor laser, the double heterostructure portion is formed on the sapphire substrate 101, via a GaN buffer layer 102 and is formed as a mesa type. Both lateral sides of the mesa-type structure is filled with GaN current blocking layers 110 having high resistance.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-93198

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平9-189730

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月15日

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(31) 優先権主張番号 特願平8-197855

(72) 発明者 岡崎 治彦

(32) 優先日 平8(1996) 7月26日

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会社東芝川崎事業所内

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(72) 発明者 藤本 英俊

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 石川 正行

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

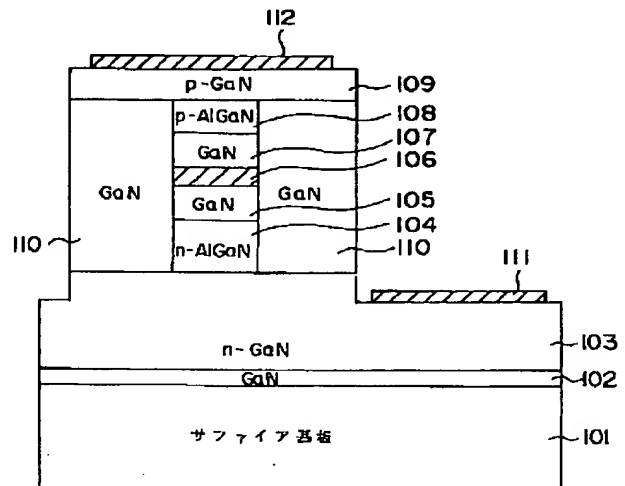
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体レーザ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 窒化ガリウム系化合物半導体材料を用いたダブルヘテロ構造部におけるキャリアの注入及び光の閉じ込めを良好に行うことができ、低しきい値で発振する短波長の光源として利用できる。

【解決手段】 サファイア基板101上に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなり、活性層106をn型クラッド層104及びp型クラッド層108で挟んだダブルヘテロ構造部を有する半導体レーザにおいて、ダブルヘテロ構造部は、サファイア基板101上にGa Nバッファ層102を介して形成され、かつメサ型に形成され、このメサ型構造の両側が高抵抗のGa N電流ブロック層110で埋め込まれている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】窒化ガリウム系化合物半導体材料 ($\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}$, $\text{N}: 0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$) からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造部を有する半導体レーザにおいて、

前記ダブルヘテロ構造部は、基板上に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなるバッファ層を介して形成され、かつメサ型に形成され、このメサ型構造の両側が電流ブロック層で埋め込まれてなることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体レーザ。

【請求項2】前記メサ型構造の活性層の両側が一部除去され、該活性層の除去部分に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなるマストランスポート層が形成されていることを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ。

【請求項3】前記電流ブロック層は、少なくともAlを含む層を露出した面上に形成されていることを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ。

【請求項4】前記電流ブロック層で埋め込まれた部分は、前記ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造より広く、前記活性層に対して基板側に位置するコンタクト層に電流を注入する電極を形成するためにメサ型構造に形成されて、

前記ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の位置が、前記基板側の電極を形成するためのメサ型構造の中心より該電極側に近くなるように配置されていることを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ。

【請求項5】前記ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の幅が、前記基板側の電極を形成するためのメサ型構造の幅の1/50以下であることを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ。

【請求項6】前記ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造と前記基板側の電極を形成するためのメサ型構造の端部との距離が、前記ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の幅の3倍以上、20倍以内であることを特徴とする請求項6又は7記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ。

【請求項7】前記ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の実効屈折率が、前記電流ブロック層の実効屈折率よりも小さいことを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ。

【請求項8】前記ダブルヘテロ構造部は基板側のクラッド層の一部を除いてメサ型に形成され、該クラッド層はAlを含む層であり、前記電流ブロック層はAlを含まない層であることを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ。

【請求項9】基板上に窒化ガリウム系化合物半導体材料 ($\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}$, $\text{N}: 0 \leq x, y, z,$

$x+y+z \leq 1$) からなるバッファ層を形成する工程と、前記バッファ層上に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造部を形成する工程と、前記ダブルヘテロ構造部をメサ状に選択エッチングしてメサ型構造を形成する工程と、気相中に高温放置して結晶を再蒸発させることにより、前記メサ型構造の活性層の両側を一部除去する工程と、気相中に高温放置して結晶を成長することにより、少なくとも前記活性層の両側の除去した部分に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなるマストランスポート層を形成する工程と、前記メサ型構造の両側に電流ブロック層を成長する工程とを含むことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造方法。

【請求項10】前記ダブルヘテロ構造部をメサ状に選択エッチングするために、レジスト/中間層/レジストの3層レジストを用いてマスクパターンを形成することを特徴とする請求項9記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体材料を用いた半導体素子に係わり、特に短波長の発光に供する窒化ガリウム系化合物半導体レーザ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、青色から紫外域にかけての短波長発光ダイオードや半導体レーザ用の材料として、GaNを初めとする窒化ガリウム系化合物半導体が注目されている。中でも、この材料系を用いた青色半導体レーザは、その発振波長が短いがゆえに高密度の情報処理用の光源としての応用が期待されている。

【0003】低しきい値電流で半導体レーザを発振させるためには、活性層へのキャリアの注入と光の閉じ込めを効率良く行うことが必要である。活性層への効率良いキャリアの注入を行うためには、pn接合を有するダブルヘテロ接合と電流狭窄構造が重要である。また、光の閉じ込めを効率良く行うためには大きな屈折率差を付けた光導波路を形成することが重要である。

【0004】しかしながら、窒化ガリウム系化合物半導体レーザにおいては、メサによる光導波路形成或いは面発光型の提案しかなされておらず、その他の構造、製造方法については殆ど報告されていない。また、このような従来型の半導体レーザではキャリアの注入や光の閉じ込めが必ずしも十分ではないばかりか、メサ型の光導波路ではp側の接触面積が小さいため素子抵抗の高い特性になってしまう。他の化合物半導体材料では、メサの両側を電流ブロック層により埋め込んでキャリアの注入や光の閉じ込めを効率良く行うことも可能であるが、窒化ガリウム系化合物半導体材料ではこのような構成をそのまま適用することもできない。

【0005】これは、次のような理由によると考えられる。即ち、窒化ガリウム系化合物半導体材料はその結晶成長が難しく、良質の結晶品質を得ることは困難である。このことから、エッチングにより所望の面を出して所望形状のメサを形成するのも難しい。さらに、メサエッチング後の段差のあるところに窒化ガリウム系化合物半導体材料を再成長するのは極めて難しく、前記したようにメサエッチングにより所望の面を出して所望形状のメサを形成するのが難しいことは、メサの両側の埋め込みを益々困難にする。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、窒化ガリウム系化合物半導体材料を用いた半導体レーザにおいては、キャリアの注入、光の閉じ込めが必ずしも十分ではなく、しきい値を低くすることができない。さらに、メサ型の光導波路では、基板と反対側のコンタクト部（一般的にはp側）の接触面積が小さいため、素子抵抗の高い特性になってしまう問題があった。

【0007】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、窒化ガリウム系化合物半導体材料を用いたダブルヘテロ構造部におけるキャリアの注入及び光の閉じ込めを良好に行うことができ、低しきい値で発振する短波長の光源として利用できる窒化ガリウム系化合物半導体レーザ及びその製造方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

（構成）上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。即ち本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体材料（ $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{B}_{1-x-y-z}\text{N}$ ； $0 \leq x, y, z, x+y+z \leq 1$ ）からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造部を有する窒化ガリウム系化合物半導体レーザにおいて、前記ダブルヘテロ構造部は、基板上に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなるバッファ層を介して形成され、かつメサ型に形成され、このメサ型構造の両側が電流ブロック層で埋め込まれてなることを特徴とする。

【0009】ここで、本発明の望ましい実施態様としては次のものがあげられる。

- (1) 電流ブロック層は、窒化ガリウム系化合物半導体材料からなること。
- (2) 窒化ガリウム系化合物半導体材料からなる電流ブロック層は、高抵抗層であること。
- (3) 窒化ガリウム系化合物半導体材料からなる電流ブロック層は、複数層を積層してpn逆接合を利用するものであること。
- (4) 電流ブロック層は、酸化膜等の絶縁膜からなること。
- (5) 活性層は、多重量子井戸構造であること。
- (6) メサ型構造の活性層の両側が一部が除去され、この

除去部分に窒化ガリウム系化合物半導体からなるマストランSPORT層が形成されていること。

(7) 電流ブロック層は、少なくともA1を含む層を露出した面上に形成されていること。

(8) ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の位置が、基板側電極を形成するためのメサ型構造の中心より該電極に近くなるように配置されていること。

(9) ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の幅が、基板側の電極を形成するためのメサ型構造の幅の $1/50$ 以下であること。

(10) ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造と基板側の電極を形成するためのメサ型構造の端部との距離が、ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の幅の3倍以上、20倍以内であること。

(11) ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の実効屈折率が、電流ブロック層の実効屈折率よりも小さいこと。

(12) ダブルヘテロ構造部は基板側のクラッド層の一部を除いてメサ型に形成され、該クラッド層はA1を含む層であり、電流ブロック層はA1を含まない層であること。

(13) ダブルヘテロ構造部及び電流ブロック層からなる素子主要部は、絶縁基板上に形成された第1導電型コンタクト層上に形成され、ダブルヘテロ構造部上には第2導電型コンタクト層が形成され、素子主要部の一部は第1導電型コンタクト層が露出するまで除去され、露出した第1導電型コンタクト層上に第1の電極が形成され、第2導電型コンタクト層上に第2の電極が形成されていること。

(14) メサ型のダブルヘテロ構造部は、素子主要部の中央よりも基板側の第1の電極側に偏って形成されていること。

(15) 電流ブロック層は窒化ガリウム系化合物半導体材料からなり、活性層部が、少なくとも $\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Al}_c\text{B}_{1-a-b-c}\text{N}$ （ $0 \leq a, b, c, a+b+c \leq 1$ ）からなる井戸層と $\text{In}_e\text{Ga}_f\text{Al}_g\text{B}_{1-e-f-g}\text{N}$ （ $0 \leq e, f, g, e+f+g \leq 1$ ）からなる障壁層とで構成される単一量子井戸又は多重量子井戸からなること。

(16) 電流ブロック層の屈折率が、ダブルヘテロ構造部の等価屈折率より大きいこと。

【0010】また本発明は、上記構造の半導体レーザの製造方法において、基板上に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなるバッファ層を形成する工程と、前記バッファ層上に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなり、活性層を導電型の異なるクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造部を形成する工程と、前記ダブルヘテロ構造部をメサ状に選択エッチングしてメサ型構造を形成する工程と、気相中に高温放置して結晶を再蒸発させることにより、前記メサ型構造の活性層の両側を一部除去する工程と、気相中に高温放置して結晶を成長することにより、

少なくとも前記活性層の両側の除去した部分に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなるマストランSPORT層を形成する工程と、前記メサ型構造の両側に電流ブロック層を成長する工程とを含むことを特徴とする。さらに、ダブルヘテロ構造部を選択エッチングするために、レジスト／中間層／レジストの3層レジストを用いてマスクパターンを形成することを特徴とする。

【0011】（作用）本発明によれば、サファイア等の基板上に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなるダブルヘテロ構造部を直接形成するのではなく、基板上に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなるバッファ層を形成し、その上にダブルヘテロ構造部を形成することにより、ダブルヘテロ構造部のための結晶成長を比較的容易に行うことができ、しかも各結晶層の品質を向上させることができる。このため、メサ形成のためのエッチングにより、所望の面を出して所望形状のメサ型構造を形成することができる。従って、メサエッチング後の段差のあるところに窒化ガリウム系化合物半導体材料を再成長するのも容易となり、メサ型構造の側部を電流ブロック層で埋め込むことが可能となる。

【0012】そして、メサ型構造の両側を電流ブロック層で埋め込むことにより、活性層へのキャリアの注入を効率良く行うことができ、さらに電流ブロック層の屈折率を活性層のそれより小さくすれば、活性層への光の閉じ込めも可能となり、発振しきい値の低減をはかり得る。特に、活性層が多重量子井戸構造をしている場合には、さらに発振しきい値の低減をはかることが可能となる。さらに、メサ型構造の両側を電流ブロック層で埋め込むことにより、メサ型構造上のみではなく電流ブロック層上にもコンタクト層を形成することができ、これによりp側電極のコンタクトを広くすることができ、電極－半導体層間のコンタクト抵抗低減による低電圧駆動が可能となる。

【0013】また、電流ブロック層を少なくともA1を含む層を露出した面上に形成することにより、再成長界面を通過して流れる無効電流を低減し、低しきい電流、低動作電圧、高信頼性素子の実現が可能となる。

【0014】また、ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の位置を電極を形成するためのメサ構造部の中心より電極に近くなるように配置することにより、電流経路を短縮し、動作電圧を低減することができる。但し、ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造部と電極を形成するためのメサ型構造の端部との距離が、ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の幅の3倍以上、20倍以内であることが望ましい。これは、ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造が、電極形成用メサに近接すると、メサ部を流れる電流に対し側面を流れる無効電流経路が長くなり、動作電圧アップの原因になってしまうからである。

【0015】また、ダブルヘテロ構造部に形成されたメ

サ型構造の幅を基板側電極を形成するためのメサ型構造の幅の1/50以下に設定することにより、ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造に適性な歪みを与え、しきい電流を低減することができる。

【0016】また、ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の実効屈折率を、電流ブロック層の実効屈折率よりも小さくすることによって、ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造の幅を極端に狭くしなくても光のガイド効果が生じ、非点隔差が小さく安定な基本横モード発振する素子を実現することが可能となる。

【0017】また、メサ型構造の活性層の両側を気相中の高温放置による結晶の再蒸発により除去し、この部分に気相中の高温放置による結晶の成長によりマストランSPORT層を形成しているため、メサ型構造の側面に埋め込む電流ブロック層とメサ界面との結晶性が良好となる。このため、メサ側面のリーク電流が低減され活性層に電流が効果的に注入されるため、より低しきい値で発振する高出力の短波長の半導体レーザを実現することが可能となる。

【0018】また、ダブルヘテロ構造部のメサ型構造を作成するために3層レジストを用いることにより、垂直の側壁を有するマスクを形成することができ、これによりダブルヘテロ構造部のメサ型構造の幅を正確に制御することが可能となる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の詳細を図示の実施形態によって説明する。

（第1の実施形態）図1は、本発明の第1の実施形態に係わる窒化ガリウム系化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図である。

【0020】サファイア基板101上に、Ga Nバッファ層102を介してn型Ga Nコンタクト層103が形成されている。コンタクト層103上には、n型Al Ga Nクラッド層104、n型Ga Nガイド層105、多重量子井戸構造（MQW）の活性層106、p型Ga Nガイド層107、p型Al Ga Nクラッド層108からなるメサ型構造が形成され、このメサ型構造の両側には活性層106よりも屈折率の小さい高抵抗Ga N電流ブロック層110が埋め込み形成されている。ここで、MQW活性層106は、障壁層としてIn組成5%のIn Ga N、井戸層としてIn組成15%のIn Ga Nを用いている。そして、メサ型構造及び電流ブロック層110上には、p型Ga Nコンタクト層109が形成されている。

【0021】また、電流ブロック層110はコンタクト層103上の全面に形成されるのではなく、コンタクト層103の一部が露出するように形成されている。そして、コンタクト層103の露出部上には、n側電極111が形成されている。さらに、p型Ga Nコンタクト層109上にはp側電極112が形成されている。

【0022】なお、メサ型構造は紙面表裏方向にストライプ状となっており、ストライプ幅は $0.5 \sim 3 \mu\text{m}$ 、ストライプ方向の長さ $500 \mu\text{m}$ とした。また、メサ型構造及び電流ブロック層のストライプと直交する方向の長さは $200 \mu\text{m}$ 、n型Ga_{0.5}Nコンタクト層103の露出部分のストライプと直交する方向の長さは $200 \mu\text{m}$ とした。

【0023】製造工程としては、周知の有機金属気相成長法(MOCVD法)を用い、サファイア基板101上に厚さ 50nm のGa_{0.5}Nバッファ層102を成長し、その上に厚さ $4 \mu\text{m}$ のn型Ga_{0.5}Nコンタクト層103、厚さ $1 \mu\text{m}$ のn型AlGa_{0.5}Nクラッド層104、厚さ $0.5 \mu\text{m}$ のn型Ga_{0.5}Nガイド層105、厚さ $0.3 \mu\text{m}$ のMQW活性層106、厚さ $0.5 \mu\text{m}$ のp型Ga_{0.5}Nガイド層107、厚さ $1 \mu\text{m}$ のp型AlGa_{0.5}Nクラッド層108までを順次成長形成する。

【0024】次いで、上記の積層膜をn型Ga_{0.5}Nコンタクト層103が露出するまでメサ状に選択エッチングし、メサ型構造を形成する。エッチングの方法としては、マスク材にSiO₂を用い、塩素ガスなどを用いたドライエッチング法や、 300°C 程度に昇温したNaOH溶液中に浸漬することによるウェットエッチングなどを用いるのが望ましい。ここで、メサ型構造の下地となるGa_{0.5}N層103の表面は(0001)面であり、メサの側面は(11'00)面又は(112'0)面となっている。但し、x'はxの反転記号を意味している。

【0025】このようにして作成されたメサ型構造について、メサ部を保護し、高抵抗Ga_{0.5}Nブロック層110を選択成長させる。高抵抗Ga_{0.5}N層110の作成は、亜鉛を添加することによって行うことができる。p型AlGa_{0.5}Nクラッド層108と高抵抗Ga_{0.5}N層110とをほぼ同一平面内になるように調整した後、厚さ $0.3 \mu\text{m}$ のp型Ga_{0.5}Nコンタクト層109を成長する。このコンタクト層109には、横方向に電流を広げるために不純物が高濃度($1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 程度)にドーピングされている。

【0026】ここで、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層109を成長する際には、一度、成長装置からウェハを取り出しているので、元の結晶領域上に酸化膜が形成され、再成長層の結晶品質が良くないことが考えられる。従って、再成長を行う前に水素などで表面を軽く気相エッチングした後、p型コンタクト層109を形成することが望ましい。このような工程を経ることによって、元の結晶領域と再成長層との界面に絶縁物の層が形成されるのを回避することができる。

【0027】また、再成長層(p型コンタクト層109)を形成する直前に 550°C 程度の低温バッファ層を形成することも可能である。このようにすることによって、再成長層の初期成長モードにおいて3次元成長することを抑制し、初期から平坦な2次元成長結晶を得ること

とができる。

【0028】以上述べた2つの工程については、高抵抗Ga_{0.5}Nブロック層110を形成する際にも同様の効果を得ることができるというまでもない。このようにして作成した埋め込み構造を、SiO₂などをマスクに用いたドライエッチング法により、n型Ga_{0.5}N層103の一部が露出するまでエッチングする。そして、電極を周知の真空蒸着法によって形成する。電極材としては、n型Ga_{0.5}Nコンタクト層103に対するn側電極としてはTi/Au積層膜111、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層109に対するp側電極としてはNi/Au積層膜112を用いる。電極のオーミック化のために、 700°C 、5分の熱処理を行うのが望ましい。

【0029】このように本実施形態によれば、サファイア基板101上に格子不整合を緩和するためのGa_{0.5}Nバッファ層102を形成し、その上にダブルヘテロ構造部を含む積層構造を形成しているので、ダブルヘテロ構造部のための結晶成長を容易に行うことができ、しかも各結晶層の品質を向上させることができる。このため、メサ形状のためのエッチングにより、所望の面を出して所望形状のメサを形成することができる。従って、メサエッチング後の段差のあるところに窒化ガリウム系化合物半導体材料を再成長するのも比較的容易となり、メサ側部を窒化ガリウム系化合物半導体で良好に埋め込むことができる。

【0030】通常、エッチングしただけの結晶側面には界面準位が多く形成される。このような界面準位はリーク電流(無効電流)の元となり、電流注入の効率を低下させる。従って、メサ側面の界面準位の働きを抑制させなければならない。このような界面準位の効果を抑制するための一つの手段として、メサ側面をSiO₂などの酸化膜等で保護した後にブロック層を形成する方法がある。別の手段としては、メサ構造が形成された後に、水素などでメサ側面を軽くエッチングした後、ブロック層を形成することも可能である。前者は界面準位を酸化膜などによってパッシベートすることによって、後者は界面準位の元となる結晶表面の乱れを除去することによって、界面準位の効果を抑制することができる。

【0031】また、メサ構造の両側がGa_{0.5}N電流ブロック層110で埋め込まれていることにより、活性層106へのキャリアの注入を効率良く行うことができ、さらに電流ブロック層110としてGa_{0.5}Nを用い活性層106よりも屈折率を小さくしているので、活性層106への光の閉じ込めも可能となり、発振しきい値の低減をはかり得る。特に、活性層106が多重量子井戸構造をしているため、さらに発振しきい値の低減をはかることが可能となる。

【0032】また、メサ型構造の両側を電流ブロック層110で埋め込むことにより、メサ型構造上のみではなく電流ブロック層110上にもp型Ga_{0.5}Nコンタクト層

109を形成することができ、これによりp側電極112のコンタクトを広くすることができ、電極-半導体層間のコンタクト抵抗低減による低電圧駆動が可能となる。

【0033】(第1の実施形態の変形例)第1の実施形態では、活性層106にIn組成5%のInGa_N障壁層及びIn組成15%のInGa_N井戸層からなるMQW構造を用いたが、単一のInGa_Nや単一量子井戸構造としてもよい。MQWにした場合には、以下の点で有利である。即ち、活性層より基板に近い層では基板とGa_N系の層との格子定数の違いによって格子欠陥が生じやすいが、活性層をMQWにすることによって、格子緩和が生じ、活性層より上に形成したp型層の不純物活性化率を上昇させることができる。また、障壁層及び井戸層はInGa_Nに限るものではなく、窒化ガリウム系化合物半導体材料In_xGa_yAl_zB_{1-x-y-z}N(0≤x, y, z, x+y+z≤1)であれば用いることが可能である。

【0034】第1の実施形態では、電流ブロック層110としての高抵抗層の製造方法として、結晶成長時のZnの添加を例に示したが、水素などをイオン注入することによる不純物の不活性化により高抵抗化することも可能である。また、製造工程におけるエッチングマスクや成長用のマスクは、必ずしもSiO₂に限るものではなくSi₃N₄などでもよい。また、基板はサファイアに限るものではなく、スピネル、ZnOなどの酸化物、SiC, GaAs, GaN, ZnSe, Siなどの半導体、MgF₂等の絶縁物を用いることも可能である。

【0035】電流ブロック層110はZnドープの高抵抗Ga_Nに限るものではなく、例えばAl_NやIn_N、或いはこれらとGa_Nとの混晶、或いはSiO₂などの絶縁膜でもよい。さらに、図2(a)に示すように、p型Ga_N層121とn型Ga_N層122を積層し、これらのpn逆接合を利用したものであってもよい。

【0036】また、埋め込み層の周辺構造としては、単純な埋め込みではなく、図2(b)に示すような構造でもよい。図2(b)では、p型Ga_Nコンタクト層109がメサ型構造の側面にも形成されており、電流ブロック層(高抵抗層)110に添加したZnの活性層106への拡散を抑制している。この場合、ビルトインポテンシャルの差を利用して電流狭窄を行うことができる。

【0037】(第2の実施形態)図3は、本発明の第2の実施形態に係わる窒化ガリウム系化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図である。なお、図1と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0038】本実施形態が第1の実施形態と異なる点は、クラッド層104、ガイド層105、活性層106、ガイド層107、クラッド層108からなるメサ型構造において、基板側のクラッド層104の一部を残した点にある。この場合、Alを含まない高抵抗Ga_N

電流ブロック層110は、Alを含むn型AlGa_Nクラッド層104上に埋込み成長されることになる。

【0039】このような構成であれば、先の第1の実施形態と同様の効果が得られるのは勿論のこと、次のような効果が得られる。即ち、高抵抗Ga_N電流ブロック層110がn型Ga_N層103と接するのではなく、n型AlGa_Nクラッド層104と接することになるので、リーク電流の低減と共にしきい値の低下をはかることができる。

【0040】即ち本実施形態では、Ga_N電流ブロック層110をn型Ga_{Al}Nからなるn型クラッド層103の表面を露出させその上に再成長させることにより形成している。この場合、電流ブロック層110としては、ZnドープGa_Nなどの実質的に高抵抗のi型層が望ましい。ここで、Alを含む表面には、GaAl_N, InGaAl_Nなどがある。Alを含む表面上にGa_Nの電流ブロック層を形成することで、発生再結合電流をヘテロバリアで抑制することができるため、より良い電流狭窄効果が得られるのである。

【0041】なお、図3では活性層部分を図1と同様にMQW活性層をガイド層で挟んだ構成としているが、必ずしも量子井戸構造にする必要はなく、単層の活性層としてもよい。また、本実施形態においても、第1の実施形態で説明したような各種の変形が可能である。

【0042】また、図18に示すように、電流ブロック層110上にもp型GaAl_N層108を形成しておくことにより、発生再結合電流をヘテロバリアで抑制する効果が顕著になり、電流狭窄効果を高めることができる。

【0043】(第3の実施形態)図4は、本発明の第2の実施形態に係わる窒化ガリウム系化合物半導体レーザの素子構造を示す斜視図(a)と断面図(b)である。なお、図1と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0044】本実施形態が第1の実施形態と異なる点は、メサ型のダブルヘテロ構造部を、ダブルヘテロ構造部及び電流ブロック層からなる素子主要部の中央よりも、n側電極111側に偏って形成したことにある。即ち、ダブルヘテロ構造部は、素子主要部の中央ではなく、n側電極111側に偏って形成され、n側電極111側の電流ブロック層の幅は10μmとなっている。

【0045】このような構成であれば、先の第1の実施形態と同様の効果が得られるのは勿論のこと、ダブルヘテロ構造のストライプ部分が中心より電極側に近いため、電流経路を短縮して動作電圧を低くすることができる。

【0046】ここで、ダブルヘテロ構造部に形成されたメサ型構造部(ストライプ部)とn側電極を形成するためのメサ型構造(素子主要部)の端部との距離は、ストライプ部の幅の3倍以上、20倍以内であることが望ま

しい。これは、ストライプ部が素子主要部の端部に近接すると、ストライプ部を流れる電流に対し側面を流れる無効電流経路が長くなり、動作電圧アップの原因になってしまうからである。この点から、ストライプ部の幅を $0.5 \sim 3.3 \mu\text{m}$ 、ストライプ部から素子主要部の端部までの長さを $10 \mu\text{m}$ とすればよい。

【0047】また、図4の構成において、ストライプ部の幅を、n側電極111を形成するための素子主要部の幅の $1/50$ 以下に設定する。これにより、ストライプ部に適性な歪みが与えられることになり、しきい電流を抑制することができる。さらに、図4の構成において、ストライプ部の実効屈折率を電流ブロック層110の実効屈折率よりも小さくすることにより、ストライプ部の幅を極端に狭くしなくても光のガイド効果が生じ、これによって非点隔差の小さな素子を実現することが可能となる。

【0048】なお、図4ではMQW活性層部分を単層としているが、図1と同様にMQW活性層をガイド層で挟んだ構成としてもよい。また、本実施形態においても、第1の実施形態で説明したような各種の変形が可能である。さらに、本実施形態のようにストライプ部分を中心より電極側にずらす構成は、前記図2や図3に示した構成にも適用することができる。

【0049】(第4の実施形態) 図5は、本発明の第4の実施形態に係わる窒化ガリウム系化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図である。

【0050】サファイア基板201上に、Ga_{0.9}N_{0.1}バッファ層202を介してn型Ga_{0.9}N_{0.1}層コンタクト層203が形成され、その上にn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層204、InGa_{0.9}N-MQW活性層205、p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層206、p型Ga_{0.9}N層207が積層されたダブルヘテロ構造部がメサ状に加工されている。

【0051】メサ型構造の活性層205の両側は一部除去され、この部分には活性層205より屈折率が低い(A_{0.1}, In) Ga_{0.9}N層(マストランスポート層)211が形成されている。さらに、メサ型構造の両側にはp型Ga_{0.9}N埋め込み層212とn型Ga_{0.9}N埋め込み層213を積層してなる電流ブロック層が埋め込み形成されている。

【0052】メサ型構造部及びn型Ga_{0.9}N層213上にはp型Ga_{0.9}Nコンタクト層208が形成され、またn型Ga_{0.9}N層コンタクト203の一部が露出するように各層がエッチング除去されている。そして、露出したn型Ga_{0.9}Nコンタクト層203上にはn側電極221が形成され、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層208上にはp側電極222が形成されている。

【0053】本実施形態においては、活性層205より屈折率が低い(A_{0.1}, In) Ga_{0.9}N層211を活性層205に接して形成することにより、活性層205への光閉じ込めが可能となる。さらに、p型Ga_{0.9}N埋め込み層

212, n型Ga_{0.9}N埋め込み層213により活性層205への電流狭窄が可能となり、活性層205への電流注入が効率的に行われる。即ち、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層208の表面全体にp側電極222を形成するが、電流は埋め込み層212, 213のpn逆接合により活性層205に効果的に注入される。このような構造では、p側電極222のコンタクト面積を広くできるため、電極-半導体層間のコンタクト抵抗を低減でき、低電圧での駆動が可能で信頼性が大幅に向上する。また、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層208により素子表面が平坦化されているため、チップ化しやすいという利点もある。

【0054】製造方法においては、ダブルヘテロ構造をメサ状にエッチングする方法は一般にRIEが用いられるが、この際に結晶表面にダメージを与える。このため、表面のダメージ層をウェットエッチングで除去するが、窒化ガリウム系材料はウェットエッチングで除去するのが難しい。そこで本実施形態は、結晶成長炉中でエッチング、さらに結晶成長することを特徴としている。

【0055】即ち、RIE等でドライエッチングしてメサ形成後に、MOCVD法等により埋め込み成長する際に、基板温度800°Cで保持してNH₃ガス流量を少なくすると、結晶はエッチングされる。特に、InGa_{0.9}N層はエッチングレートが大きくメサ部分の活性層205は容易にエッチングされ、RIEによるダメージ層の除去が容易である。引き続き、基板温度800°Cで保持してNH₃ガス流量を多くすると、マストランスポートによりエッチングされた活性層部分とメサ底部の角に結晶成長する。このような製造方法によると、メサ側面のリーク電流が低減され、活性層205に電流が効果的に注入される。

【0056】図6及び図7は、同実施形態の製造工程を示す断面図である。まず、図6(a)に示すように、サファイア基板201上に厚さ50nmのGa_{0.9}Nバッファ層202、厚さ4 μm のn型Ga_{0.9}N層コンタクト203、厚さ1 μm のn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層204、厚さ0.3 μm のInGa_{0.9}N-MQW活性層205、厚さ1 μm のp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層206、厚さ0.5 μm のp型Ga_{0.9}N層7をMOCVD法により順次成長する。

【0057】次いで、図6(b)に示すように、p型Ga_{0.9}N層207の表面にSiO₂膜231を形成した後、PEP法によりパターニングし、エッチングしてp型Ga_{0.9}N層207を露出させて、RIE法によりn型Ga_{0.9}N層203が露出するまでエッチングする。ここで、上記のSiO₂膜231のパターニングを、後述するように3層レジストを用いて行ってもよい。

【0058】次いで、MOCVD反応炉中で800°Cに保持しておき、NH₃ガス流量21/分、N₂ガス流量201/分を流すと、図6(c)に示すように、表面がガスエッチングされ、特に活性層205の両側が一部除

去される。

【0059】次いで、 NH_3 ガス流量10 l/分、 N_2 ガス流量20 l/分を流すと、図6 (d) に示すように、マストランスポートによりメサ表面の凹凸が埋められるように結晶層（マストランスポート層）211が成長する。

【0060】次いで、図7 (e) に示すように、p型Ga_{0.55}N埋め込み層212、n型Ga_{0.55}N埋め込み層213の電流ブロック層を形成する。なお、上記した活性層両側のガスエッチング、マストランスポート層の形成、電流ブロック層の形成は、MOCVDのための原料ガスが供給される同一の反応炉内で連続して行うことができ、従ってメサ型構造の側面が大気中に晒されることがない。

【0061】次いで、図7 (f) に示すように、表面の SiO_2 膜231を除去してp型Ga_{0.55}Nコンタクト層208を成長させる。次いで、図7 (g) に示すように、 SiO_2 膜231を形成した後、PEP法によりパターニング、エッチングしてp型Ga_{0.55}Nコンタクト層208を露出させて、RIE法によりn型Ga_{0.55}Nコンタクト層203が露出するまでエッチングする。

【0062】次いで、n側電極221としてTi/Au積層膜を形成し、さらにp側電極222としてNi/Au積層膜を形成した後熱処理を加えることにより、前記図3に示す構造が得られる。

【0063】このようにして得られた半導体レーザについて、電流-光パワー-電圧特性を調べた結果をそれぞれ図8 (a) (b) に示す。本実施形態では、従来例よりしきい値電流が約1/2の良好な特性が得られた。また、ウェハ表面に凹凸が少ないため、チップ化の際の素子歩留りは90%以上と良好であった。

【0064】（第4の実施形態の変形例）第4の実施形態では、マストランスポートによる結晶層211を活性層205の側部と共にメサ底部に形成したが、図9

(a) に示すように、活性層205の側部のみに結晶層211を形成するようにしてもよい。

【0065】また、電流ブロック層は必ずしもpn逆接合を利用したものに限らず、図9 (b) に示すように、Ga_{0.55}Nの高抵抗層215にしてもよい。さらに、図9 (c) に示すように、活性層205が大きくエッチングされない程度のガスエッチングをした後に、マストランスポートによる結晶層211を形成するようにしてもよい。また、第1の実施形態の変形例でも述べたように、活性層の構成、電流ブロック層の構成・材料等は、仕様に応じて適宜変更可能である。

【0066】（第5の実施形態）図10は、本発明の第5の実施形態に係わる窒化ガリウム系化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図である。基本構造は図1に示した第1の実施形態と同じである。

【0067】図中301はサファイア基板であり、この基板301上にGa_{0.55}Nバッファ層302、n型Ga_{0.55}Nコ

ンタクト層303、n型AlGa_{0.55}Nクラッド層304、n型Ga_{0.55}N導波層305、InGa_{0.55}NからなるMQW活性層306、p型Ga_{0.55}N導波層307、p型AlGa_{0.55}Nクラッド層308、AlGa_{0.55}N電流ブロック層310、p型Ga_{0.55}Nコンタクト層309が形成されている。これらの結晶成長は、MOCVD法或いはMBE法によって行われる。

【0068】p型AlGa_{0.55}Nクラッド層308からn型AlGa_{0.55}Nクラッド層304まではメサ部を除いてエッチング除去され、この両側に高抵抗のAlGa_{0.55}N電流ブロック層310が形成される。p型Ga_{0.55}Nコンタクト層309からn型Ga_{0.55}Nコンタクト層303までが部分的に除去され、n型Ga_{0.55}Nコンタクト層303上にはn側電極311、p型Ga_{0.55}Nコンタクト層309上にはp側電極312が形成される。

【0069】このレーザの活性層部は、In_{0.5}Ga_{0.5}N井戸層/In_{0.5}Ga_{0.5}N障壁層 ($c > d$) からなる多重量子井戸、及びGa_{0.55}N導波層を設けたSCH構造となっている。

【0070】具体的な組成及び各層の膜厚の例を示すと、多重量子井戸はIn_{0.5}Ga_{0.5}N井戸層 (2 nm) / In_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層 (4 nm) の5対からなり、Ga_{0.55}N導波層の厚さはそれぞれ0.1 μmである。また、両クラッド層は、n型Ga_{0.55}Al_{0.45}N (0.3 μm)、p型Ga_{0.55}Al_{0.45}N (0.3 μm) からなる。

【0071】ここで重要なのは、安定な基本横モード発振を得るためのメサ幅と活性層部/埋込み層の屈折率差ΔNである。活性層部の構造が決まれば、ΔNは埋込み層の組成で決まる。本実施形態の例では、埋込み層をGa_{0.55}Al_{0.45}Nとし、ストライプ幅を1 μmとした。

【0072】ここで、安定な基本横モード発振を実現するためのストライプ幅と埋込み層組成との関係について説明する。図11はIn_{0.5}Ga_{0.5}N井戸層 (2 nm) / In_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層 (4 nm) からなる多重量子井戸構造（導波層、クラッド層のパラメータは図10と同様）を活性層部に用いた場合、Ga_{0.55}Al_{0.45}N埋込み層のAl組成xに対して水平横モードの1次モード（高次モード）がカットオフとなる条件、即ち基本横モードのみが存在する条件を満たすストライプ幅Wをプロットしたものである。安定な基本横モード発振を実現するには、ストライプ幅Wはこの図の曲線で示された値より小さく設定する必要がある。

【0073】埋込み構造はキャリアと光を効率的に閉じ込め、低しきい値での発振を実現するのに適した構造であるが、窒化ガリウム系化合物半導体レーザでは、基本横モードを得るためのメサ幅が狭いため、作成プロセスではその制御を厳密に行う必要がある。メサ幅が狭くなるのは発振波長が短いため、窒化ガリウム系化合物半導体レーザでは本質的な問題と言える。

【0074】メサ幅を比較的大きくするには、水平方向の屈折率差 ΔN を小さくする、即ち埋込み層のA1組成を小さくすればよい。但し、 ΔN の制御は組成や膜厚の制御性に依存するため、確実に高次モードをカットオフするには、図11からも分るように、メサ幅を $1\mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。

【0075】このメサ幅を大きくする手法として、反導波構造がある。反導波構造は、ストライプ外の屈折率をストライプ内より大きくした構造である。この場合、屈折率差 ΔN は通常の光導波路とは逆の負の値となるが、ストライプ内外の損失差或いは利得差によって導波モードが形成される。反導波構造は、利得差のみによって導波モードを形成する、いわゆる利得導波構造とは大きな違いがある。それは、非点収差が小さく、かつ低しきい値化が可能なことである。

【0076】利得導波型、実屈折率導波型、反導波型を比較するため、それぞれの非点隔差、及び1次モードと基本モードとの損失差のストライプ幅依存性を図12

(a)(b)に示した。損失差が大きいほど基本横モードでの発振が得られ易く、また非点隔差が小さいほど光ディスク等の応用では使い易い特性である。図12

(a)(b)から分るように、利得導波型は非点隔差が極めて大きく、光ディスク応用には使用できない。これに対して実屈折率導波型は非点隔差を小さい値とすることができる。但し、ストライプ幅の大きい領域では高次モードと基本モードとの損失差が本質的には0であるため、図11でも説明したように、ストライプ幅を極めて小さく値に制御する必要がある。

【0077】これに対して、反導波型は実屈折率同型と同程度に小さく、かつ比較的大いストライプ幅でも、高次モードと基本モードとの損失差を大きくすることができるという特徴がある。このような反導波型を採用した例を次の第6の実施形態で説明する。

【0078】(第6の実施形態)図13は、本発明の第6の実施形態に係わる窒化ガリウム系化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図である。なお、図10と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0079】本実施形態が図10に示した第5の実施形態と異なる点は、電流ブロック層を高抵抗の $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層359としたことにある。これにより、電流ブロック層359の屈折率は、ダブルヘテロ構造部の等価屈折率より大きくなる。また、電流ブロック層359のバンドギャップは量子井戸を構成する井戸層と同じであるため、高抵抗でキャリアが注入されない状態では、発振波長に対して損失層となる。即ち、屈折率に関してはストライプ内<ストライプ外、損失に関してはストライプ内<ストライプ外という反導波構造が実現される。

【0080】本実施形態では、ストライプ幅を $3\mu\text{m}$ とした。このような比較的大いストライプ幅は作成が容易

である。また、以下に述べるように、反導波構造ではストライプ幅の許容度も大きいという特徴がある。

【0081】図14(a)(b)は、ダブルヘテロ構造部のパラメータが図13に示した本実施形態と同じ場合に、非点隔差、基本モード損失、1次モードと基本モードとの損失差の各ストライプ幅依存性を示したものである。反導波構造で非点隔差が小さいことは図12でも説明した通りであるが、図14(b)から分るように、ストライプ幅 $3\mu\text{m}$ 近辺では、1次モードと基本モードとの損失差が大きく、かつ基本モードの損失も比較的小さいことが分る。従って、安定な基本横モードでかつ低しきい値での発振が可能である。

【0082】(第7の実施形態)図15は、本発明の第7の実施形態に係わる窒化ガリウム系化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図である。基本構造は図5に示した第4の実施形態と同じである。

【0083】図中401はサファイア基板であり、この基板401上にGa_{0.9}Nバッファ層402、n型Ga_{0.9}Nコンタクト層403、n型Ga_{0.9}Al_{0.1}Nクラッド層404、n型Ga_{0.9}N導波層454、InGa_{0.9}N多重量子井戸405、p型Ga_{0.9}N導波層456、p型Ga_{0.9}Al_{0.1}Nクラッド層406、p型Ga_{0.9}Nキャップ層407、Ga_{0.9}N埋込み層411、p型InGa_{0.9}N埋込み層412、n型Ga_{0.9}N埋込み層413、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層408が形成されている。421はn側電極、422はp側電極である。

【0084】本実施形態では、p型InGa_{0.9}N埋込み層412の損失により、反導波構造を実現している。即ち、この埋込み層412のバンドギャップを活性層部の井戸層部のバンドギャップと略等しくするか、或いは小さくすることにより、発振波長に対して損失を与える層とすることができる。具体的には、p型InGa_{0.9}N埋込み層412のIn組成を井戸層と同じか或いは大きくすればよい。これにより、低しきい値かつ基本横モードで発振する窒化ガリウム系化合物半導体レーザを得ることができる。

【0085】(第8の実施形態)図16及び図17は、本発明の第8の実施形態に係わる窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造工程を示す断面図であり、特にダブルヘテロ構造部のメサ型構造の作成プロセスを示している。本実施形態は、これまでに説明した各実施形態に適用することができる。

【0086】まず、図16(a)に示すように、サファイア基板501上に厚さ50nmのGa_{0.9}Nバッファ層502を成長し、その上に厚さ $4\mu\text{m}$ のn型Ga_{0.9}Nコンタクト層503、厚さ $1\mu\text{m}$ のn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層504、厚さ0.3 μm のInGa_{0.9}N-MQW活性層505、厚さ $1\mu\text{m}$ のp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層506、厚さ0.5 μm のp型Ga_{0.9}N層507をMOCVD法により順次成長する。

【0087】次いで、図16(b)に示すように、p型Ga_{0.7}N_{0.3}層507上にSiO₂膜531を熱CVD法により0.4μm堆積し、その上にレジスト/中間層/レジストからなる3層レジストを形成した。即ち、SiO₂膜531上に第1のレジスト532を3μmの厚さに塗布し、250℃の窒素雰囲気中に20分間晒してレジストの硬化処理を行った後、Ti(又はAl)膜533を電子ビーム蒸着法で100~200nmの厚さに蒸着し、その上に第2のレジスト534を1μmの厚さに塗布した。そして、レジスト534に光露光プロセスにより、例えば1μm幅のストライプパターンを形成した。

【0088】次いで、図16(c)に示すように、塩素ガスを用いた反応性イオンビームエッチング(RIBE)により、レジスト534をマスクにTi膜533を選択エッチングし、ストライプパターンを転写した。

【0089】次いで、図17(d)に示すように、酸素ガスを用いたRIBEにより、Ti膜533をマスクにレジスト532を選択エッチングし、ストライプパターンを転写した。このとき、レジスト532は既に硬化処理を行っているため、塩素プラズマに対する耐性は良好である。このような工程により、略垂直の側壁を有するレジストマスクを作成することができた。

【0090】次いで、図17(e)に示すように、レジスト532及びTi膜533をマスクに、RIBEでSiO₂膜531を選択エッチングし、さらに図17(f)に示すように、メサストライプ形成のための選択エッチングを行った。その結果、幅1μmで垂直な側壁を有する、ダブルヘテロ構造のメサ型構造を得ることができた。

【0091】これ以降は、電流ブロック層(埋込み層)の成長、コンタクト層の成長、基板側電極形成のためのメサ型構造の形成(例えば、図6及び図7に示す工程)を行い、さらに電極形成を行うことによって、窒化ガリウム系化合物半導体レーザを作成することができる。

【0092】このように本実施形態によれば、3層レジストを用いることにより、狭いメサストライプでも制御性良く形成することができ、第1~第7の実施形態に説明したような埋込み構造(BH)のレーザの製造に際して極めて有効である。なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0093】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、基板上に窒化ガリウム系化合物半導体材料からなるバッファ層を介して窒化ガリウム系化合物半導体材料からなるメサ型のダブルヘテロ構造部を形成し、そのメサ型構造の両側を電流ブロック層で埋め込む構成としているので、ダブルヘテロ構造部におけるキャリアの注入及び光の閉じ込めを良好に行うことができ、低しきい値で発振する短波長の光源として利用できる窒化ガリウム系化合物

半導体レーザを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係わる化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図2】第1の実施形態の変形例を示す素子構造断面図。

【図3】第2の実施形態に係わる化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図4】第2の実施形態に係わる化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図5】第3の実施形態に係わる化合物半導体レーザの素子構造を示す斜視図と断面図。

【図6】第4の実施形態における半導体レーザの製造工程の前半を示す断面図。

【図7】第4の実施形態における半導体レーザの製造工程の後半を示す断面図。

【図8】第4の実施形態における半導体レーザの光パワー及び電圧特性を示す図。

【図9】第4の実施形態の変形例を示す素子構造断面図。

【図10】第5の実施形態に係わる化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図11】高次モードカットオフ条件を示す図。

【図12】利得導波型、実屈折率導波型、反導波型の特性比較を示す図。

【図13】第6の実施形態に係わる化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図14】反導波構造の窒化ガリウム系化合物半導体レーザの特性を示す図。

【図15】第7の実施形態に係わる化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図16】第8の実施形態に係わる半導体レーザの製造工程の前半を示す断面図。

【図17】第8の実施形態に係わる半導体レーザの製造工程の後半を示す断面図。

【図18】第2の実施形態の変形例を示す断面図。

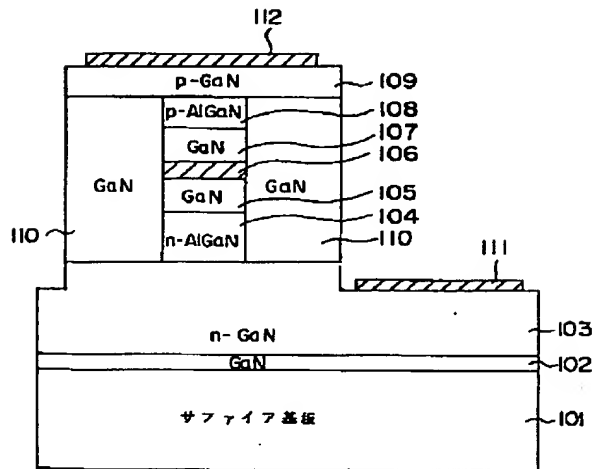
【符号の説明】

101, 201...サファイア基板
102, 202...Ga_{0.7}N_{0.3}バッファ層
103, 203...n型Ga_{0.7}N_{0.3}コンタクト層
104, 204...n型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層
105...アンドープGa_{0.7}Nガイド層
106, 205...MQW活性層
107...アンドープGa_{0.7}Nガイド層
108, 206...p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層
109, 208...p型Ga_{0.7}Nコンタクト層
110...Ga_{0.7}N層電流ブロック層
111, 221...n側電極
112, 222...p側電極
121, 212...p型Ga_{0.7}N埋め込み層層

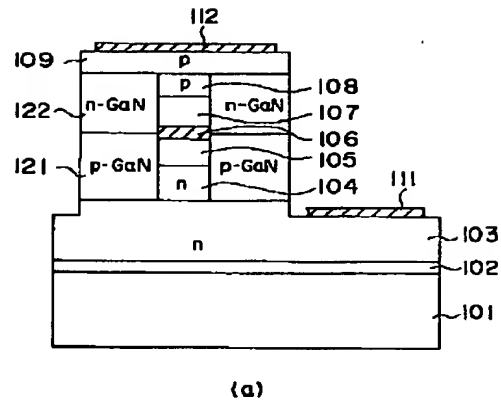
122, 213...n型Ga_N埋め込み層層
207...p型Ga_N層

211... (Al, In) Ga_NマストランSPORT層

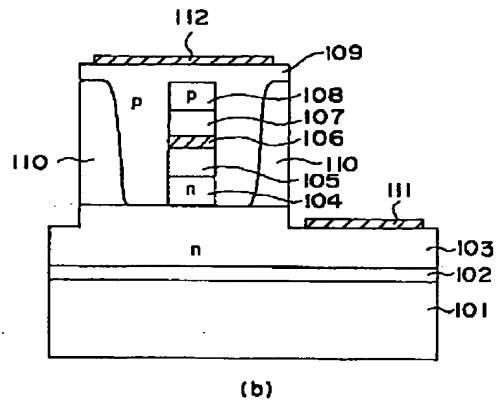
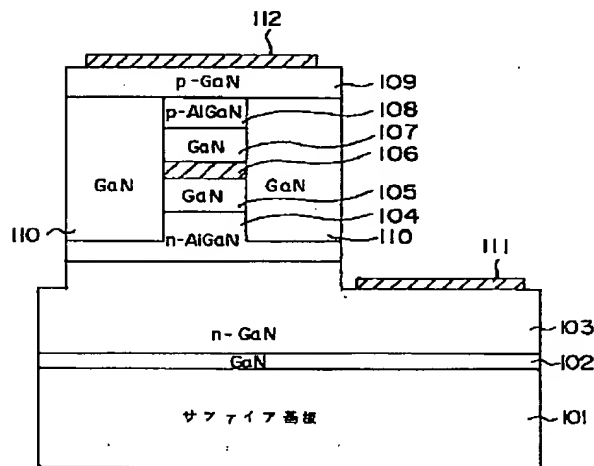
【図1】



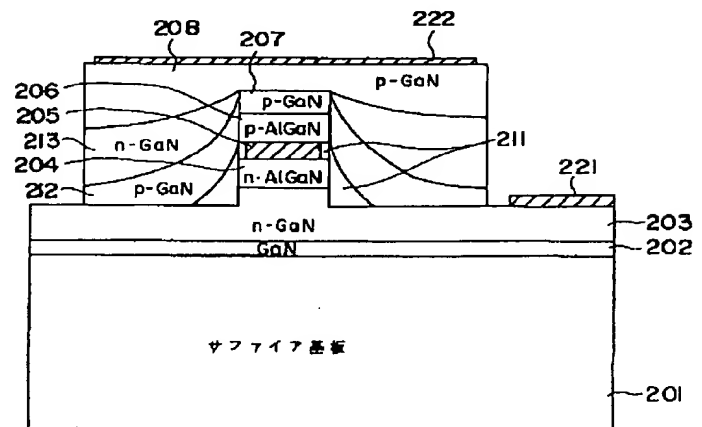
【図2】



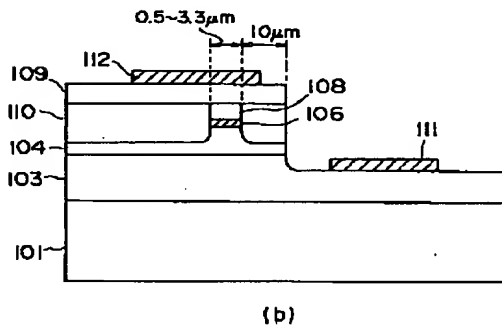
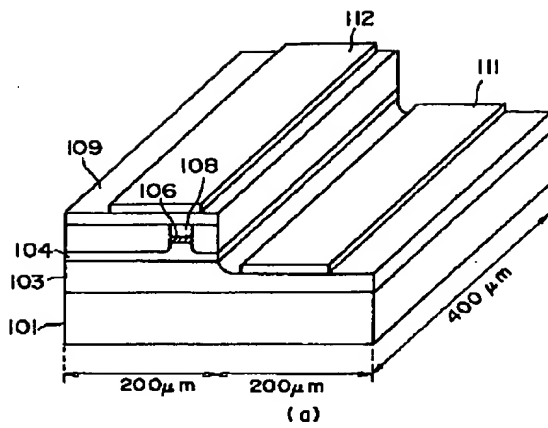
【図3】



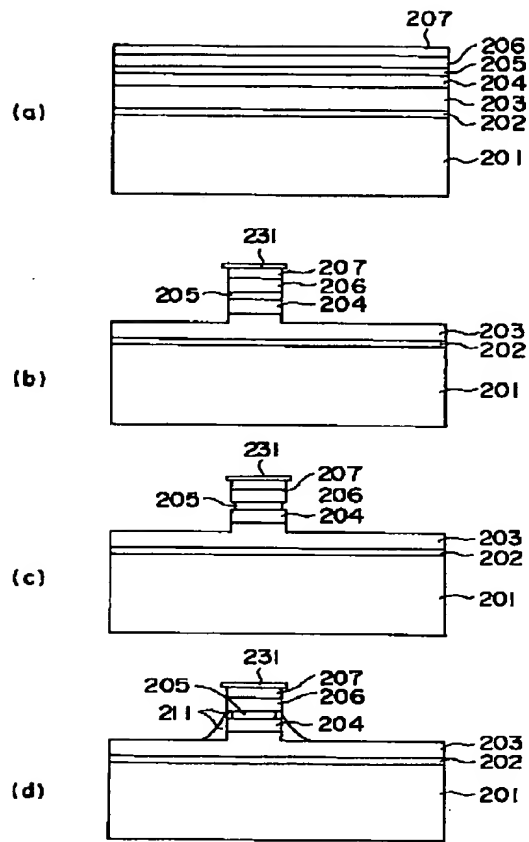
【図5】



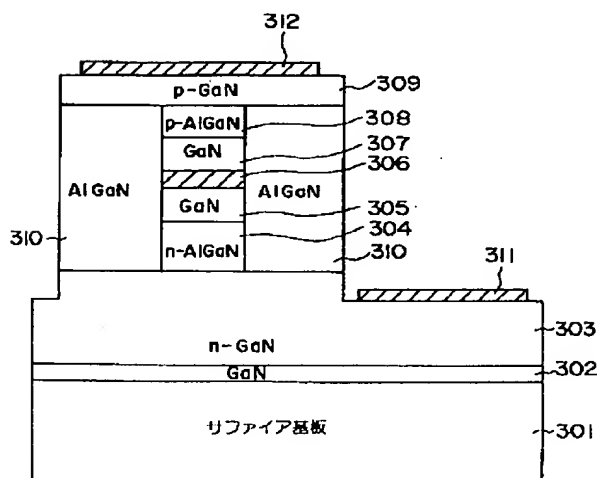
【図4】



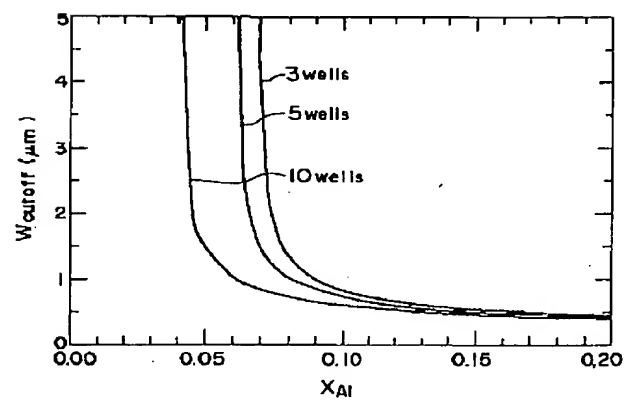
【図6】



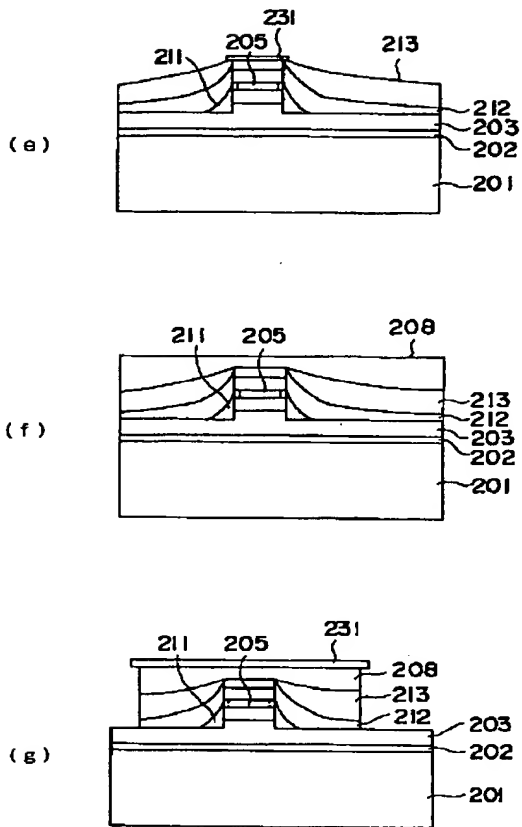
【図10】



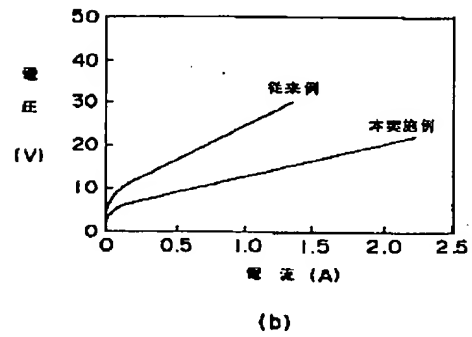
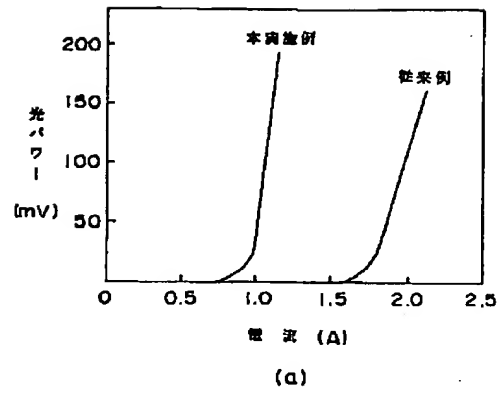
【図11】



【図7】

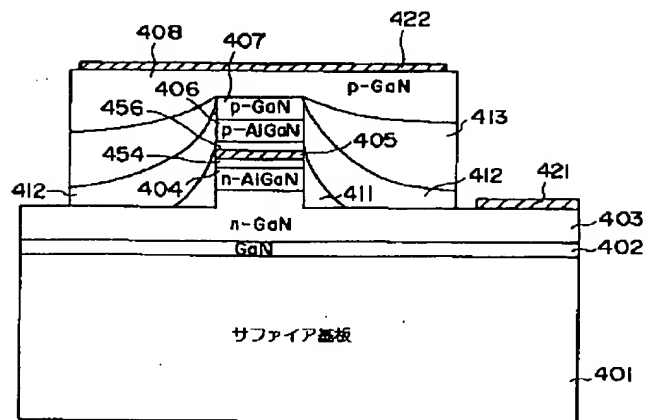
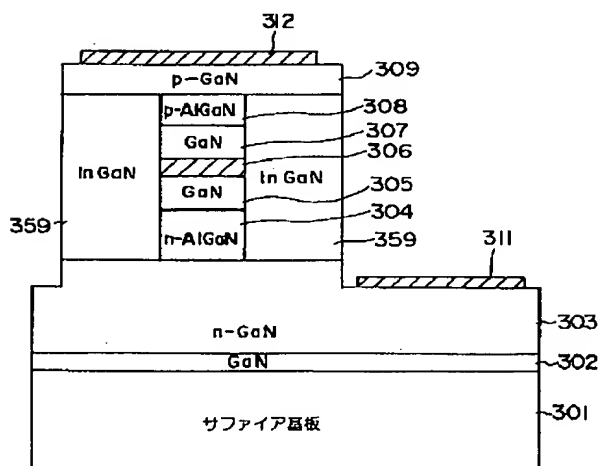


【図8】

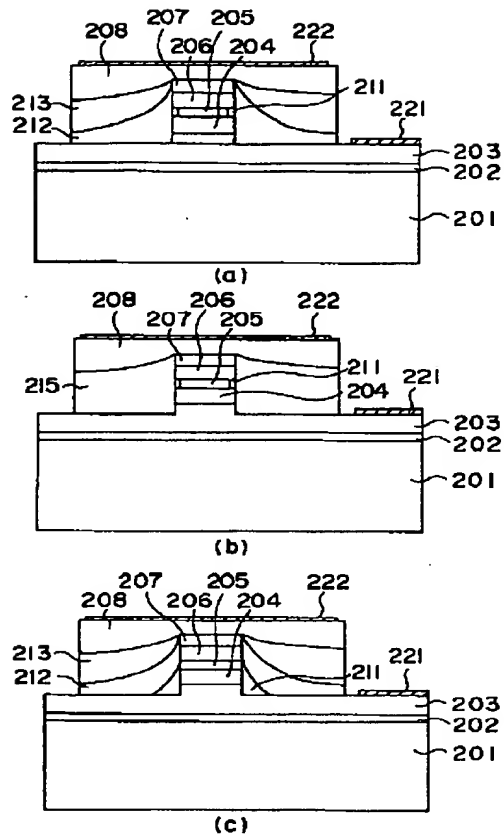


【図15】

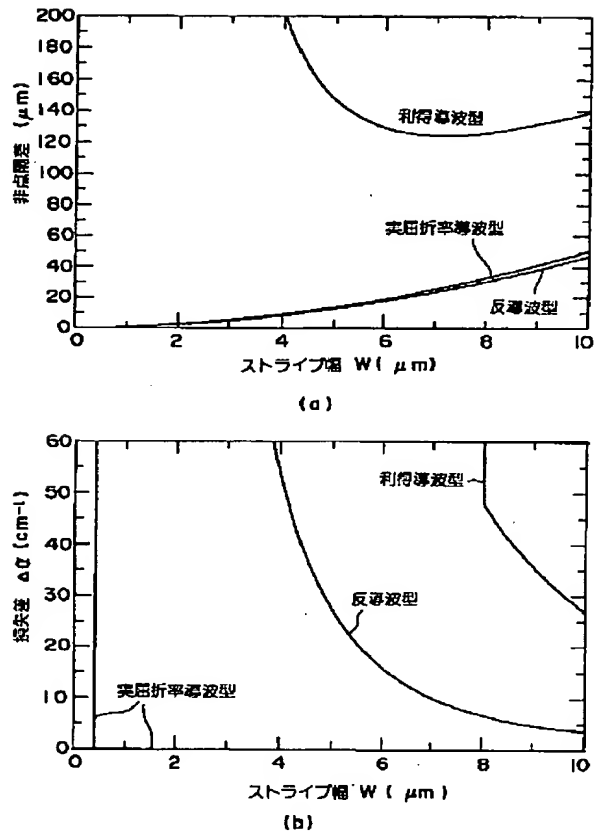
【図13】



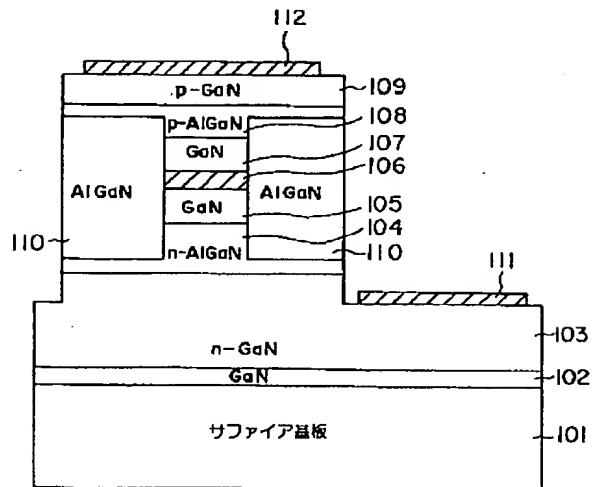
【図9】



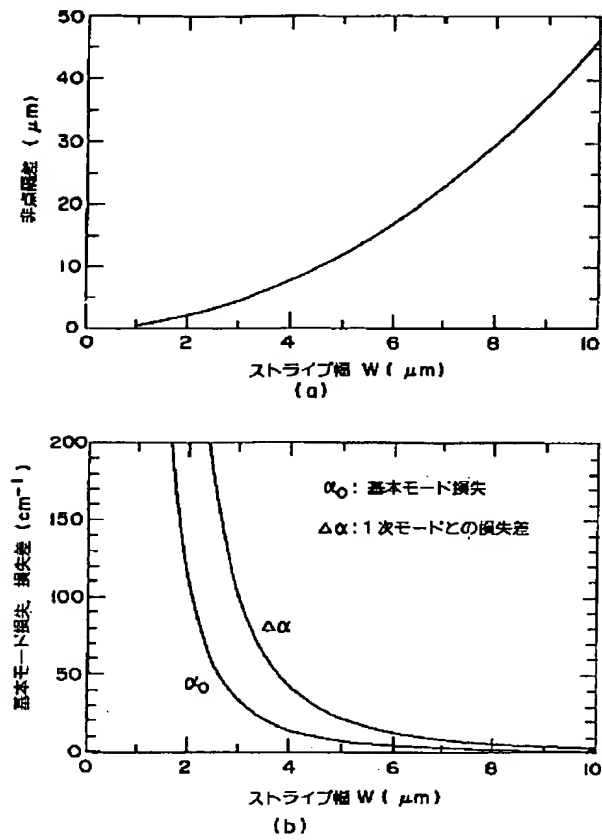
【図12】



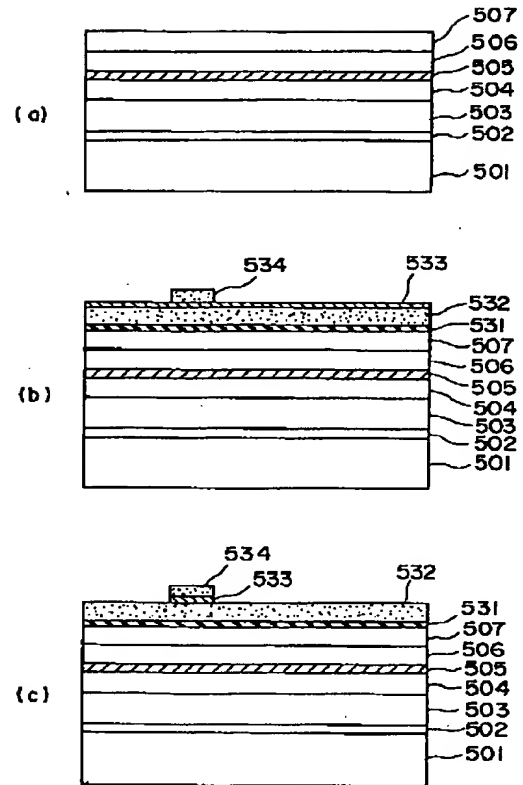
【図18】



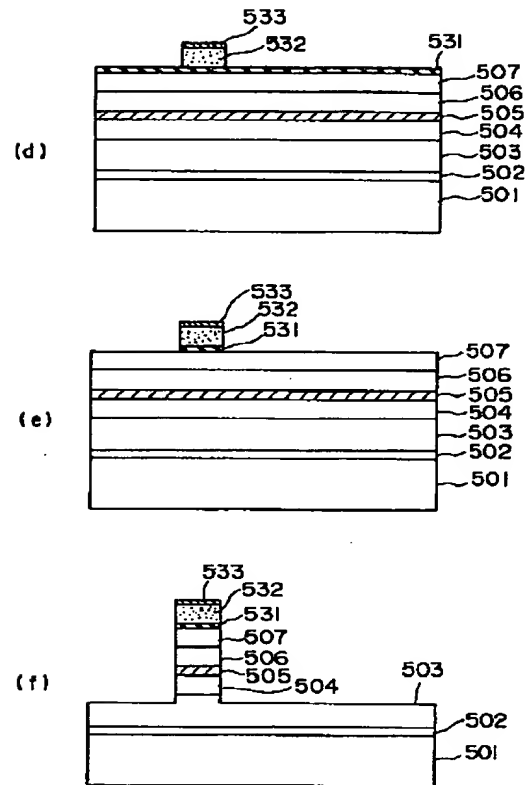
【図14】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 布上 真也
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 波多腰 玄一
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 山本 雅裕
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内